

⑤

Int. Cl. 2:

B 23 K 26/00

H 03 H 3/04

⑯ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

DEUTSCHES



PATENTAMT

DE 27 13 904 A 1

⑪

Offenlegungsschrift 27 13 904

⑫

Aktenzeichen:

P 27 13 904.4-34

⑬

Anmeldetag:

29. 3. 77

⑭

Offenlegungstag:

5. 10. 78

⑮

Unionspriorität:

⑯

⑰

⑱

—

⑥

Bezeichnung:

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von mittels Laserstrahl erzeugten gratfreien Bohrungen

⑦

Anmelder:

Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München

⑧

Erfinder:

Müller, Paul, 8000 München

Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt

DE 27 13 904 A 1

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von mittels Laserstrahlung erzeugten gratfreien Bohrungen, gemäß dem man den Bohrgrat in an sich bekannter Weise durch Defokussierung des Laserstrahles aufschmelzt und einschußseitig mit dem Material des Werkstückes verschweißt, dadurch gekennzeichnet, daß man schon während des Bohrvorganges den sich laufend bildenden Bohrgrat (22) durch Anwendung eines weiteren, den Laserbohrstrahl (11) überlagernden und gegenüber diesem defokussierten Schmelzstrahles (13) verschweißt.
2. Vorrichtung zur Ausübung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Bearbeitungslaserstrahl (3) in einen am Arbeitsort eine hohe Energiedichte aufweisenden Bohrstrahl (11) und einen am Arbeitsort den Bohrstrahl ummantelnden und eine geringere Energiedichte aufweisenden Schmelzstrahl (13) aufgegliedert ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Bearbeitungslaser ein bifokussierendes Mehrlinsen-Objektiv (14) aufweist, das den Laserstrahl (3) in einen energiereichen Bohrstrahl (11) und einen eine geringere Energiedichte als der erstere aufweisenden Schmelzstrahl (13) aufgliedert, wobei die Brennpunkte (P1) des Bohrstrahles (11) und (P2) des Schmelzstrahles (13) auf der optischen Achse (A) gelegen sind.
4. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Objektiv-Linse (19) für den Bearbeitungslaser eine Ringlinse (20) und eine planar hierzu angeordnete Kernlinse (21) ist, wobei diese beiden Linsenkörper (20, 21) aus Materialien unterschiedlicher Brechkraft bestehen.
5. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Objektiv-Linse (19) eine Fresnel-Linse ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet,

809840/0280

daß das Objektiv (14) eine Ringlinse (20') sowie eine Kernlinse (21') aufweist, die komplanar zueinander angeordnet sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Laserobjektiv (14) eine ringförmige Objektiv-Linse (20') und eine hierzu komplanar gelegene Linse (25) aufweist, die gegeneinander einstellbar sind und daß diese beiden Linsen nur die Mantelzone des Laserstrahles (3) beeinflussen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kernlinse (21') bzw. die Zwischenlinse (25) in Richtung der optischen Achse verstell- und einstellbar sind.

9. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß sie zwei Bearbeitungslaser (10 und 12) aufweist, und daß die optische Achse (A') des Schmelzstrahles (13) unter einem spitzen Winkel (W) zur optischen Achse (A) des Bohrstrahles (11) gerichtet ist und daß die beiden optischen Achsen (A und A') sich im Brennpunkt P1 des Bohrstrahles (11) schneiden.

809840/0280

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von mittels Laserstrahl erzeugten gratfreien Bohrungen

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen von mittels Laserstrahlung erzeugten gratfreien Bohrungen, gemäß dem man den Bohrgrad in an sich bekannter Weise durch Defokussierung des Laserstrahles aufschmelzt und einschuss-
5 seitig mit dem Material des Werkstückes verschweißt.

Das Bohren und Schneiden von Werkstücken mittels hochenergie- reichen Strahlen, vorzugsweise unter Anwendung von gepulstem Laserlicht, ist bekannt. Beim Bohren entsteht an der Bohrung-
10 kante bzw. dem Bohrkrater ein Grat, der je nach der Art des zu bohrenden oder schneidenden Materials sowie von der Energiedichte des Strahles verschiedene Formen aufweist. So kann z.B. beim Bohren von Stahl der Grat in Form von mit dem Werkstück verbundenen Tropfen aber auch in der Art von Nadeln nur lose
15 mit dem Werkstück verbunden sein. Wird das Werkstück später hohen Beschleunigungskräften ausgesetzt, wie dies z.B. bei zur Frequenzstabilisierung dienenden Stahlbiegeschwingern der Fall ist, so kann es vorkommen, daß Teile des Grates abbrechen und in der benachbarten Umgebung des Werkstückes die Funktion von
20 Vorrichtungen nachteilig beeinflussen; auch wird durch den abgebrochenen Grat die Eigenfrequenz des Stahlbiegeschwingers zum Teil erheblich geändert. Zur Vermeidung dieses Nachteiles wurde im deutschen Patent Nr. 23 55 428 vorgeschlagen, den Bohrgrad in an sich bekannter Weise durch Defokussierung des Laserstrahles
25 aufzuschmelzen und mit der Stirnfläche des Biegeschwingers zu ver-

schweißen.

- Derartige Stahlbiegeschwinger haben sich gut bewährt. Indessen ist die Herstellungsweise dieses bekannten Stahlbiegeschwingers zeitaufwendig. Nach erfolgtem Abgleichen wird der Bohrgrat durch die Fokussierung des Laser- bzw. Elektronenstrahles niedergeschmolzen und mit der Stirnfläche des Stahlbiegeschwingers verschweißt. Dadurch kann es vorkommen, daß sich die Eigenfrequenz des Stahlbiegeschwingers ändert. Es muß unter Umständen ein erneuter Abgleich vorgenommen werden. Ist der Bohrgrat hinsichtlich seiner Masse vergleichsweise groß, wie dies bei relativ tiefen Einschüssen in die Stirnfläche eines Stahlbiegeschwingers vorkommt, so bedingt dieser Umstand eine längere Einwirkung des defokussierten Bearbeitungsstrahles auf das Werkstück und somit einen höheren Zeitaufwand. Entsprechende Nachteile treten bei allen mittels Laserstrahl erzeugten Bohrungen auf, bei welchen der Bohrgrat in einem späteren Arbeitsgang mit dem Werkstück verschweißt werden soll. Diese Nachteile sollen durch die Erfindung behoben werden. Dies geschieht gemäß dem erfinderischen Verfahren dadurch, daß man schon während des Bohrvorganges den sich laufend bildenden Bohrgrat durch Anwendung eines weiteren, den Laser-Bohrstrahl überlagernden und gegenüber diesem defokussierten Laser-Schmelzstrahles verschweißt.
- Durch diese erfinderische Verfahrensweise wird demnach der sich bildende Bohrgrat schon während seiner Entstehung kontinuierlich mit der dem Laser-Bohrstrahl zugekehrten Fläche des Werkstückes verschweißt. Bei der während des Abgleichens eines Stahlbiegeschwingers laufend erfolgenden Messung seiner Eigenfrequenz und dem Vergleich der Istfrequenz mit einer Sollfrequenz, z.B. gemäß der DT-OS 23 13 574 entfällt somit eine Nachbehandlung bzw. eine erneute Überprüfung der Eigenfrequenz des Stahlbiegeschwingers nach erfolgtem Verschweißen des Bohrgrates mit der Stirnfläche des Stahlbiegeschwingers.
- Zur Ausübung des Verfahrens bedient man sich vorteilhaft eines Bearbeitungslasers, dessen Linsensystem vorzugsweise dessen Objektiv den Bearbeitungslaserstrahl in einen Bohrstrahl und in

809840/0280

COPY



-3-5

einen in seiner optischen Achse liegenden und gegenüber dem erst ren defokussierten Schmelzstrahl aufgliedert. Besonders vorteilhaft ist s, mit nur einem Bearbeitungslaser zu arbeiten, wobei man mittels eines M hrlinsen-Objektives den Laserstrahl in
5 einen Bohrstrahl und einen eine geringere Energiedichte als der erstere aufweisenden Schmelzstrahl aufgliedert.

Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung besitzt das Objektiv des Bearbeitungslasers ein bifokussierendes Linsensystem zur Er-
10 zeugung des Bohr- und Schmelzstrahles, deren Brennpunkte in Abstand auf der beiden Strahlen gemeinsamen optischen Achse gelegen sind. Möchte man auf ein bifokussierendes Linsensystem verzichten, so kann man auch den Laser-Schmelzstrahl unter einem Spitz-
winkel auf den Bearbeitungsort des Bohrstrahles projizieren.

15 Bei der Befolgung der erfinderischen Lehre ist es mit vergleichsweise einfachen Mitteln möglich, den sich beim Bohren mittels Laserstrahl bildenden Grat schon während seiner Entstehung niederzuschmelzen bzw. bei einem Stahlbiegeschwinger mit der
20 Stirnfläche des Biegeschwingers zu verschweißen.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind aus den Unteransprüchen ersichtlich.

25 Es zeigen:

Figur 1 eine gemäß dem erfinderischen Verfahren arbeitende Vorrichtung zum Abgleichen eines Stahlbiegeschwingers,

Figuren 2 bis 5 verschiedene Linsen-Anordnungen des Bearbeitungslaser-Objektives zur Erzeugung eines Bohr- und Schmelz-
30 strahles,

Figur 6 zwei Bearbeitungslaser, deren Strahlen unter einem spitzen Winkel zueinander gerichtet sind.

Gemäß Figur 1 werden zum Abgleich eines Stahlbiegeschwingers 1
35 in seine Stirnfläche 2 mittels eines Laserstrahles 3 Bohrungen eingeschossen. Der Stahlbiegeschwinger ist bei 4 eingespannt; er wird mittels eines Elektromagneten 5 über einen Oszillator 6 zu Schwingungen angeregt. Die Eigenfrequenz des Stahlbiege-

809840/0280

COPY



-4- 6

schwingers wird mittels eines Adapters 7 rfaßt und die Meß-
größe über einen Verstärker 8 ein m Soll-Istwert-Vergleicher 9
zugeführt. Ein den Bohrstrahl 11 erzeugender Bearbeitungslaser
10 arbeitet hier - ebenfalls in an sich bekannter Art - mit
5 einem zweiten Laser 12 zusammen; er erzeugt den Schmelzstrahl 13.
Mittels eines Objektives 14 werden die hier in einer gemeinsamen
optischen Achse A verlaufenden Laserstrahlen aufgegliedert, derart,
daß Brennpunkte P1 und P2 des Bohr- und Schmelzstrahles ausein-
anderliegen bzw. die mittels des Objektives erzeugten Brenn-
10 weiten der beiden Strahlen 11 und 13 unterschiedlich sind. Wird
vom Soll-Ist-Vergleicher 9 eine Übereinstimmung zwischen der Soll-
und Istfrequenz ermittelt, so wird der Generator 6 sowie die
Laser 10 und 12 abgeschaltet. Im vorliegenden Beispiel sind zwei
Bearbeitungslaser 10 und 12 vorgesehen, wobei - in diesem Bei-
15 spiel - der Schmelzstrahl 13 über einen Umlenkspiegel 16 in die
optische Achse A des Bohrerstrahles 11 eingeblendet wird. Sofern
der den Bohrstrahl 11 erzeugende Bearbeitungslaser energiereich
ist, genügt es und ist es vorteilhaft, mit nur einem Bearbeitungs-
laser zu arbeiten.

20

Wie in Figur 2 dargestellt, ist der von einem oder zwei Be-
arbeitungslasern erzeugte Laserstrahl 3 durch ein Linsensystem
14, bestehend im wesentlichen aus einer bikonkaven Streulinse 18
sowie einer Objektiv-Linse 19, in einen Bohrstrahl 11 und einen
25 Schmelzstrahl 13 aufgegliedert. Zu diesem Zweck ist die Objektiv-
Linse 19 zweiteilig gebildet; sie besteht aus einer Ringlinse 20
und einer planar hierzu angeordneten Zentrallinse 21. Die Linsen-
materialien dieser Linsen sind unterschiedlich; die Brechungs-
kraft der Zentrallinse 21 ist hier größer als jene der Ringlinse
30 20. Wie ersichtlich, bilden die Ringlinse mit der Zentrallinse
eine Linseneinheit, wobei die Krümmungsradien R_1 und R_2 der
planar zueinander liegenden Linsen beiden gemeinsam sind. Das
Objektiv 14 ist derart angeordnet, daß der hier von der Zentral-
linse 21 erzeugte Brennpunkt des Bohrstrahles 11 auf der Stirn-
35 fläche 2 des Biegeschwingers 1 gelegen ist. Der von der Ringlinse
20 erzeugte Brennpunkt P2 des Schmelzstrahles 13 besitzt eine
größere Brennweite f_2 als die des Bohrstrahles f_1 . Dies hat zur
Folge, daß der Schmelzstrahl während des Bohrvorganges bzw.

809840/0280

- 5- 7
- während d s Abgl ich ns die Randzone 2 des Bohrloches 15 beaufschlagt und dabei d n Bohrgrat 22 aufschmelzt; dadurch verschweißt der Bohrgrat mit der Stirnfläche 2 des W rkstückes 1. Die Streulinse 18 der Objektivlinse 19 ist hier wahlweise in
- 5 Richtung der Pfeile 23 verstell- und einstellbar. Durch diese Maßnahme kann eine Strahlenaufteilung in Bezug auf die gewünschten Energiedichten des Bohr- und Schmelzstrahles in begrenztem Umfange herbeigeführt werden.
- 10 Figur 3 zeigt eine andere Ausbildung der Objektivlinse 19 des Linsensystems 14 des Bearbeitungslasers. Hier ist die Objektivlinse 19 einteilig gebildet; das Linzenmaterial ist homogen. Die Objektivlinse ist hier nach Art einer Fresnellinse gebildet, d.h. der Linsenkörper besitzt Flächen unterschiedlicher sphärischer Krümmung, wie dies durch die Radien R3 und R4 angedeutet
- 15 ist. Die Wirkungsweise dieser Linse entspricht im übrigen jener der Figur 2.
- Figur 4 zeigt ein anderes Linsensystem des Objektivs eines Bearbeitungslasers gemäß der Figur 2. Zum Unterschied gegenüber der letztgenannten Ausführungsform ist hier die Zentral- oder Kernlinse 21' getrennt von der Ringlinse 20' und komplanar zu ihr angeordnet, sowie zwischen der in Pfeilrichtung 23 einstellbaren Streulinse 18 und der Ringlinse 20' gelegen; sie ist in
- 20 Pfeilrichtung 24 einstellbar. Die Brennpunkte P1 und P2 des Bohrstrahles 11 und des Schmelzstrahles 13, aber auch ihre Strahlenquerschnitte, sind so in geeigneter Weise zueinander abstimmbare. Eine derartige Ausführungsform des Objektivs ist daher zu bevorzugen.
- 30 Figur 5 zeigt eine andere Anordnung des Laserobjektivs eines Bearbeitungslasers. Die Objektivlinse 20' ist ringförmig gebildet, wobei jedoch im Gegensatz zur Figur 4 eine Zwischenlinse 25 dazu dient, im Zusammenwirken mit der Ringlinse 20' den Schmelzstrahl 13 gegenüber dem Bohrstrahl 11 einstellbar zu halten. Dies geschieht durch eine Einstellung der Zwischenlins 25 in Richtung der Pfeile 26. Wie ersichtlich ist der Schmelzstrahl 13 vom Bohrstrahl 11 ummantelt, wobei der Brenn-
- 35

809840/0280

~~6-8~~

punkt P1 d s Bohrstrahles auch hier in der Bearbeitungsebene
E gel gen ist.

Die in den Figuren 2 bis 5 gezeigten Lins nsysteme sind lediglich
5 schematisch dargestellt, wobei zur besseren Übersicht auf die
Darstellung der zur Anwendung kommenden Korrekturlinsen verzichtet
wurde.

Figur 6 zeigt eine Anordnung zum Bohren von Löchern mittels eines
10 Laserstrahles, nämlich den Bohrstrahl 11, wobei jedoch hier der
die optische Achse 27 des Schmelzstrahles 13 unter einem spitzen
Winkel W zur optischen Achse A des Bohrstrahles gerichtet ist.
Wie ersichtlich dienen auch hier zwei Bearbeitungslaser 10 und 12
zur Erzeugung des Bohr- und Schmelzstrahles. Sind die Laser
15 parallel zu einander angeordnet, - wie dargestellt - so ver-
wendet man vorteilhaft einen Justierspiegel 28 mit einer nach-
geordneten Optik 29, welche den Schmelzstrahl 13, den Bohr strahl
11 überlagernd, auf den Arbeitsort projiziert.

9 Patentansprüche

6 Figuren

809840/0280

- 92
Leerseite

Numm r: 27 13 904
Int. Cl.2: B 23 K 26/00
Anmeldetag: 29. März 1977
Offenlegungstag: 5. Oktob r 1978

- 11 - VPA 77 P 7030 BRD 2/1

2713904

Fig.1

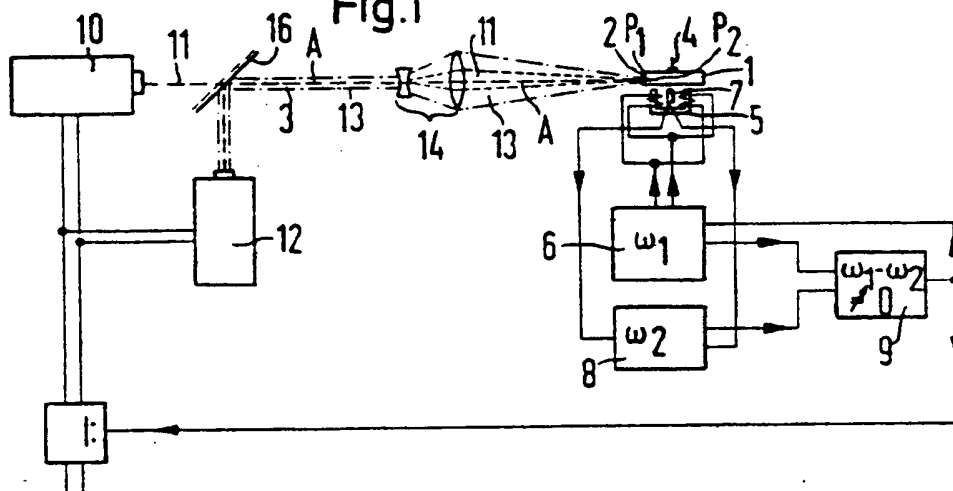


Fig.2

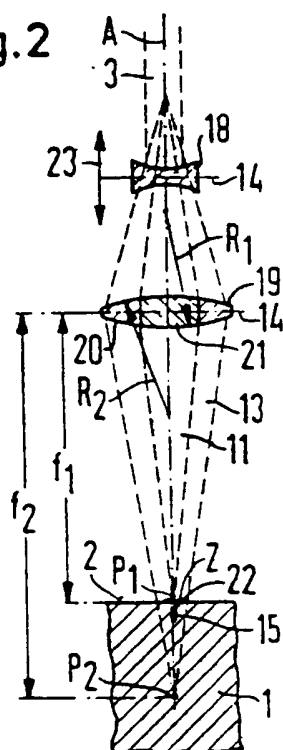
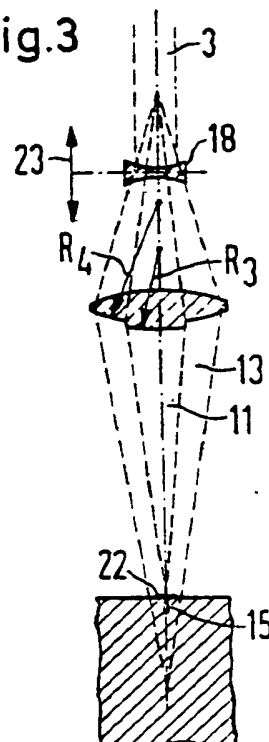


Fig.3



809840 / 0280

Siemens AG

2713904

Fig.4

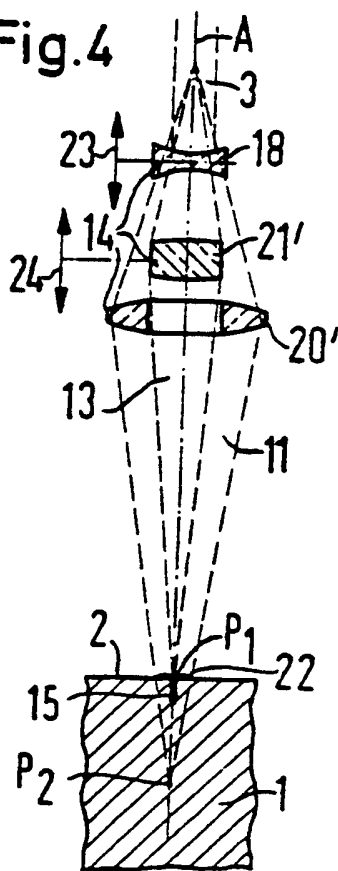


Fig.5

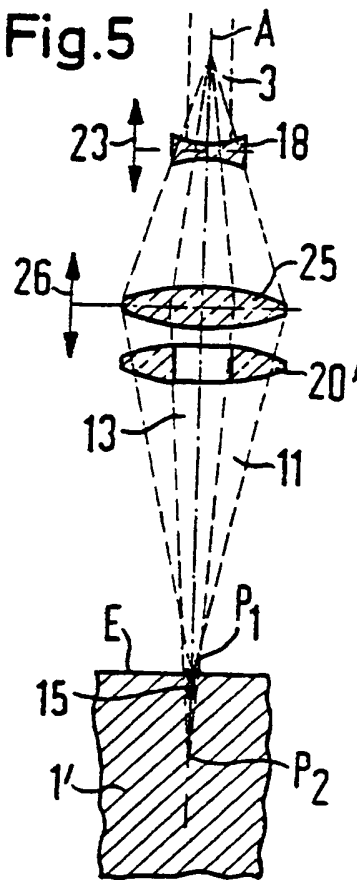
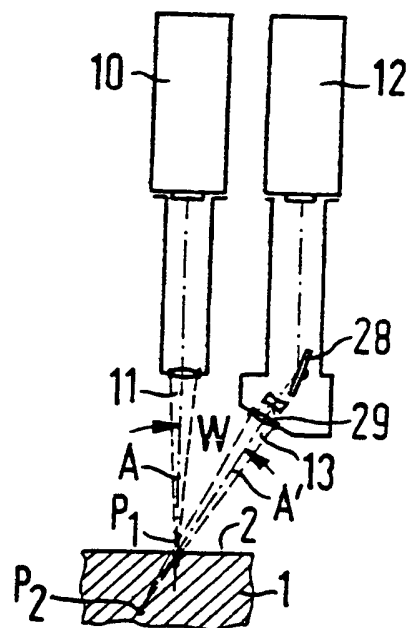


Fig.6



809840/0280

Siemens AG